

Éles Péter mk. őrnagy:

## MEGVALÓSULT CIOLKOVSZKIJ ÁLMA

### Gondolatok a rakétatechnika hőskoráról

ÖSSZEFOGLALÁS: A rakéták, az irányított páncéltörő rakétáktól a tömegpusztító fegyverek interkontinentális ballisztikus célba juttató eszközeiig napjaink leghatásosabb fegyverei közé tartoznak. Jelenleg a rakéta az egyetlen eszköze az emberiségnek arra, hogy embert, műsért a kozmikus térbe kijuttasson. Annak apropóján, hogy 2015-ben emlékeztünk meg „a rakétarepülés atyja”, Konsztantyin Eduardovics Ciolkovszkij (1857. szeptember 5., Izsevszk – 1935. szeptember 19., Kaluga) halálának 80. évfordulójáról, néhány gondolatban célszerű feleleveníteni a rakétatechnika első lépéseit, a hőskort.<sup>1</sup>

KULCSSZAVAK: kémiai reakciók, tolóerő, ballisztika, Gázdinamikai Laboratórium, GIRD-csoport, Szputnyik-1

### AZ ELSŐ RAKÉTÁK

A rakéták „felfedezése” az idők homályába vész. A sugárhajtás elvét ősidők óta ismeri, alkalmazza az ember. Gondolhatunk Hérón labdájára, a Segner-kerékre, a versailles-i kastély szökőkútjára. Kínában, az ókorban ünnepi tűzijátékokon már röppentyűket (rakétákat) lőttek ki (Kínában már ismert volt a puskapor). Sőt volt kínai próbálkozás arra is, hogy rakétával hajtott sárkányon embert emeljenek a levegőbe (sikertelenül).

A sugárhajtás fizikai alapjait Isaac Newton fektette le III. mozgástörvényében: minden hatással együtt egyenlő nagyságú, de ellenkező irányú ellenhatás lép fel.

A 19. században, a fizikai alapokat felhasználva, megjelentek a katonai célú rakéták. Gondoljunk pl. a krími háborúban alkalmazott eszközökre (ún. röppentyűk).

Az első világháborúban a rakéták nem játszottak szerepet, mivel a csövestüzérség nagyarányú fejlődése és ezzel párhuzamosan a rakéta-hajtóanyagok hiánya (ilyen célra akkoriban jóformán csak a lőpor jöhetett volna számításba) feleslegessé tette ezeket az eszközöket. Mindazonáltal a kutatás folyt tovább.



Konsztantyin Eduardovics Ciolkovszkij 1930-ban.

Forrás: Jevgenyij Rjabcsikov: *A kozmosz Kolumbuszai*. Kossuth Könyvkiadó, 1974.

<sup>1</sup> Részletesebb áttekintés: pl. Asbóth Oszkár: Géprepülés. Zrínyi Honvéd Kiadó, Budapest, 1957.

## A CIOLKOVSZKIJ-EGYENLET

A rakéta olyan repülőeszköz, amely a mozgását létrehozó tolóerőt képező gáz sugár fejlesztéséhez szükséges tüzelőanyagot és annak elégetését okozó oxigént magával viszi, függetlenül magától a légkörtől. A 19. század utolsó és a 20. század első évtizedei nagy előrelépést hoztak a rakétarepülés elmélete és a rakétatechnika területén. A svájci Hermann Ganswindt, az orosz Iván Mescserszkij és Konsztantyin Eduardovics Ciolkovszkij foglalkoztak először tudományos igénnyel a rakétaelmélettel. Az Amerikai Egyesült Államokban Robert Goddard, Németországban Hermann Oberth végzett úttörő munkát a rakétaelmélet és -építés területén.

Mescserszkij 1897-es *A változó tömegű pont dinamikája* című műve már előrevetítette a Ciolkovszkij által a 20. század elején megalkotott, róla elnevezett rakétaegyenletet. Ciolkovszkij gondolatmenete egyszerű: a mozgásmennyiség (impulzus) megmaradásának elvéből induljunk ki. Ha a rakéta tömege adott időpillanatban  $m$ , valamint a rakétából folyamatosan  $dm$  tömegű gáz áramlik ki  $z$  sebességgel, a rakétának biztosítva  $v$  repülési sebességet, akkor az impulzus-megmaradás tétele szerint:

$$dm \cdot z = m \cdot dv$$

Integrálva az egyenletet:

$$\begin{aligned} & \int_{v_{\text{év}}}^{v} dm/m, \\ & v = 0 \quad m_i \end{aligned}$$

ahol  $v_{\text{év}}$ : a rakéta égésvégi sebessége (tehát a tüzelőanyag elfogyása után)

$m_i$ : a rakéta induló tömege

$m_{\text{év}}$ : a rakéta égésvégi tömege

Belátva, hogy  $v_{\text{év}}$  egyenlő a maximális sebességgel ( $v_{\text{max}}$ ), az integrálást elvégezve:

$$v_{\text{max}} = z \ln m_i/m_{\text{év}}$$

Természetesen ez ideális eset, ugyanis valós körülmények között számolni kell (a légköri repülés során) az aerodinamikai ellenállással, valamint a Föld tömegvonzásával. Ezeket a tényezőket figyelembe véve az egyenlet így módosul:

$$v_{\text{év}} = z \ln m_i/m_{\text{év}} - g_0 + g_{\text{év}}/2 \cdot t - ct,$$

ahol  $g_0$ : a Föld felszíni gravitációja

$g_{\text{év}}$ : az égésvégi pontban fellépő gravitáció

$t$ : az eltelt idő

$c$ : az aerodinamikai (lég-) ellenállás.

Megjegyzésként még említsük meg az  $m_i/m_{\text{év}}$  mennyiséget, amelyet Ciolkovszkij-számnak nevezünk: ez a hajtóanyag tömegének és az égésvégi tömegnek a hányadosa.

## A RAKÉTATERVEZÉS ALAPJAI – FOGALMAK, MENNYISÉGEK

### Tervezési alapok

A fenti egyenletből látszik, hogy a rakéták sebességének alakulásában döntő szerepet játszik a tömegarány. Olyannyira, hogy a rakétatervezés legfőbb szempontja az ideális tömegarány kialakítása. Ez egylépcsős rakétákban maximálisan 5, nagyobb arányok elérésére többlépcsős rakéták alkalmasak.

A rakéta sebessége növelhető a gázok kiáramlási sebességének növelésével is. A kiáramlási sebesség több összetevő függvénye. Ezek az alkalmazott hajtóanyag energiatartalma, összetétele, illetve a kiáramlás nyílásának (fúvókának) a geometriai kialakítása.

A rakétánál alkalmazott fúvóka kialakítása a Laval-féle cső felépítését követi. A fúvóka két, kisebb átmérőjével érintkező csonka kúpból áll. Az áramlás irányába szűkülő csonka kúpot konfúzornak, a tágulót diffúzornak nevezzük. Megjegyezzük, hogy a gyakorlatban az áramlási veszteségek és a fajlagos tolóerő növelésének érdekében a kialakítás nem egyenes csonka kúpokból történik, hanem profilozott fúvókákat alkalmaznak.

A Laval-fúvóka konfúzorában történik a gázok gyorsítása, ahol az áramlási sebesség ( $v_1$ ) a helyi hangsebesség alatt van. Bernoulli törvénye szerint itt az áramló gázok mozgási energiája nő, nyomása csökken. Ilyen állapotban érkeznek a gázrészecskék a konfúzor és a diffúzor közötti átmenethez, az ún. kritikus keresztmetszethez ( $A_{kr}$ ). Itt az áramlás sebessége ( $v_{kr}$ ) eléri a helyi hangsebességet, kritikus nyomással és hőmérséklettel. Az áramlási sebesség további növelése ( $v_2$ ) hangsebesség felett, a diffúzorban történik. A kiáramlási sebesség ( $z$ ) az áramló gázok molekulatömegétől ( $M$ ), az égéstér abszolút hőmérsékletétől ( $T$ ), valamint egy gyakorlati arányossági tényezőtől ( $A$ ) függ, az alábbi összefüggés szerint:

$$z = A(T/M)^{1/2}$$

Az alkalmazott rakétákban lezajló kémiai reakciók során keletkező és kiáramló gázok túlnyomórészt vízgőzből, szén-dioxidból és szén-monoxidból állnak, melyeknek molekulatömege rendre 18, 44 és 28. Ezeknél az anyagoknál kisebb molekulatömegű anyagok ritkán keletkeznek vegyi átalakulások során. Vagyis a fenti egyenlet nevezője jelen tudásunk szerint már nemigen csökkenthető, ebből következően a végeredmény, azaz a kiáramlási sebesség fokozása csak a számláló növelésével, vagyis az égéstér abszolút hőmérsékletének növelésével érhető el. Tehát nagyobb energiatartalmú hajtóanyagok alkalmazása, a hajtóművekben fokozottan hőálló szerkezeti anyagok felhasználása és magas hatásfokú hűtőberendezések beépítése a cél.

Rakétákról szólva nem kerülhetjük meg a köznyelvben is polgárjogot nyert fogalmat, a tolóerőt. A rakétahajtóműveket, eltérően a többi hőerőgéptől, nem a teljesítményük alapján ítéljük meg, hanem tolóerejük szerint.

A tolóerőt szintén az impulzustétel alapján vezethetjük le. Könnyen belátható, hogy a rakétahajtómű által  $t$  idő alatt létrehozott teljes impulzus egyenlő a hajtómű által létrehozott  $F_t$  tolóerő és az idő szorzatával. Ez azonban – visszautalva a Ciolkovszkij-egyenletre – egyenlő az ezen idő alatt felhasznált hajtóanyag  $dm$  tömegének és a kiáramlás  $z$  sebességének szorzatával, azaz:

$$F_t \cdot dt = dm \cdot z, \text{ ebből az } F_t \text{ tolóerő}$$

$$F_t = z \cdot dm/dt$$

A rakétaszerkesztésnél használatos mutató még a fajlagos impulzus, illetve tolóerő ( $I_f$ ). Ez megmutatja, hogy egy rakétahajtómű másodpercenként, egységnyi tömegű hajtóanyag felhasználásakor, mekkora tolóerőt hoz létre.

Kifejezve:

$$I_f = \frac{F_t}{m/t} = F_t \cdot t/m = z,$$

azaz az  $F_t$  tolóerő és az időegység alatt bekövetkezett tömegvesztesség  $m/t$  hányadosa.

Látható, hogy a fajlagos tolóerő nem is annyira a rakétahajtómű, mint a hajtóanyag minőségi mutatója.

## Ballisztika dióhéjban

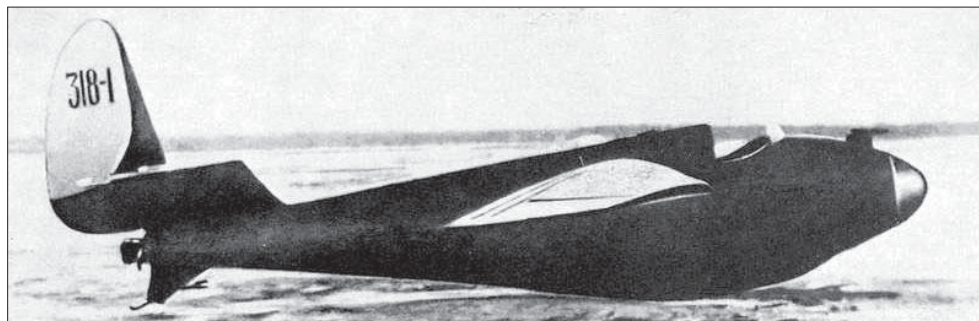
Rakétákról szólva megkerülhetetlen téma a ballisztikai jellemzők legalább rövid tárgyalása. A ballisztika az elhajított tárgyak mozgásának törvényszerűségeit kutatja. Lövedékekre nézve két fő része a belső és a külső ballisztika. A belső ballisztika a lövedék mozgását tárgyalja a kezdősebesség kialakulásáig, a külső ballisztika a lövedék térbeli mozgásával foglalkozik a röppályán, a cél felé haladva.

A hajtómű működésének befejeződésével a rakétára csak a nehézségi erő és az aerodinamikai ellenállás fejt ki hatást. Ami bonyolítja a helyzetet, az az, hogy a hajtómű működése közben annak belső ballisztikai jellemzői jelentősen befolyásolják a térbeli mozgást: ahogy fogy a hajtóanyag és az oxidálószer, úgy változik a rakéta tömegközéppontja, maga a tömege, a tolóerő. Ez az ún. aktív szakasz. Az aktív szakasz időtartama határozza meg a rakéta maximális lőtávolságát, a röppálya alakját. Az irányítható rakéták célravezetése az aktív szakaszban történik.

A hajtómű működésének megszűntével a rakéta ballisztikus pályán halad (mint az elhajított test konzervatív centrális erőterében). A kisebb lőtávolságú (nem irányított) rakétákat ferdeszögben indítják, irányása analóg a hagyományos tüzéség irányzásával (irányzógépek). A hajtómű működése viszonylag rövid ideig tart, így a rakéta igen rövid időn belül ballisztikus testként viselkedik.

Nagyobb lőtávolságok esetén ( $l > 100$  km) az indítás függőlegesen történik. Ennek célja, hogy a rakéta a lehető leggyorsabban elhagyja a sűrűbb atmoszférát (a tropo- és a sztratoszférát, azaz leküzdje a 20–30 km magasságot). A sűrű légrétegek elhagyása után az égésvégi pontban az irányítórendszer  $\varphi$  programszögbe fordítja a rakétát, beáll itt is a ballisztikus szakasz. Fontos, hogy amikor a rakéta visszatér a sűrű atmoszférába (közel a ballisztikus szakasz végén), a súrlódás és az aerodinamikai ellenállás következtében irányeltérés adódik. Ezt inerciális (tehetetlenségi) irányítással (navigációval) korrigálják.

A tehetetlenségi navigáció: „...az irányított lövedékek autonóm irányításának nagy pontosságú módszere. Alkalmazáshoz szükség van a kiindulási pont és a célpont földrajzi koordinátáinak ismeretére. Ezeket az adatokat – vagyis a két pontnak a Föld felszínén mért távolságát – a tárolóegységbe programozzák. A tehetetlenségi navigáció folyamatosan



*Koroljov RP-318 típusjelű rakéta-repülőgépe (1940)*

Forrás: Jevgenyij Rjabcsikov: *A kozmosz Kolumbuszai*. Kossuth Könyvkiadó, 1974.; <http://xplanes.free.fr/florov/afr-3.html>

méri a lövedék gyorsulását, s ebből elektronikus módon végzett egyszeres vagy kétszeres integrálással származtatja a sebességet, illetve a megtett utat. A gyorsulásmérés Schuler-ingához<sup>2</sup> kötött, stabilizált síkon, három, egymásra merőleges tengely irányában elhelyezett gyorsulásmérőn történik.”<sup>3</sup> Természetesen ezek az irányítási rendszerek nem vonatkoznak a kozmoszba indított rakétákra.

## Hajtóanyagok, oxidálószer

A rakétáknál először szilárd hajtóanyagot használtak, nevezetesen füstös lőport (puskapor), majd felfedezését követően a gyérfüstű lőport. A szilárd hajtóanyagok az égéshez szükséges oxigént kémiaiilag kötött állapotban tartalmazzák, azaz az alkotók egyesítettek, ezért ezeket az anyagokat monergolnak is hívják. Napjainkban a szilárd hajtóanyagoknak is széles a palettája. A 19. század végén és a 20. század elején kezdődtek meg a kísérletek a folyékony hajtóanyagokkal. Napjainkban is használatban van mindkét megoldás, valamint alkalmazzák a viszonylag új, ún. hibrid hajtóanyagokat.

A hajtómű szempontjából a legegyszerűbb kialakítása a szilárd hajtóanyagú rakétának van. Valójában nem más, mint egy tüzelőtér és a fúvóka. A fúvócső és a tüzelőtér között egy légcseré-mentesítő lemezt helyeznek el, amely az égésnek egy bizonyos pontján (amikor az égés során felszabaduló gázok nyomása eléri a kritikus értéket) átszakad, és megindul a gáz kiáramlása, létrehozva a rakéta mozgását biztosító tolóerőt. Előnye a hajtóanyag állékony-sága, a szerkezet egyszerűsége, hátránya a viszonylag nagy égéstér, a folyékony hajtóanya-gokhoz képest kisebb tolóerő, valamint az égés nehézkes szabályozhatósága, így a tolóerő szabályozása is igen bonyolult. Igaz ugyan, hogy a geometriai égéstörvények érvényesülnek, ezek a jellemzők azonban nagyban függenek a különböző külső és belső tényezőktől, így a tolóerő-szabályozás sem lesz precíz.

A szilárd hajtóanyagot főként a kisebb, nem irányított rakétákon alkalmazzák, illetve kisebb irányított rakétákon, ahol az irányítás aerodinamikai úton valósul meg, nem pedig a tolóerő szabályozásán alapul. Érdekesség, hogy alkalmazzák hadászati támadó rakétafe-gyvereken is, főleg repülőgép- vagy tengeralattjáró-fedélzeti indításúakon, gyors harckésszé tételük folytán.

Néhány szilárd hajtóanyag és kiáramlási sebességük:

Gyérfüstű lőpor	1000 m/s
Cellulóz-acetát ammónium-nitrát oxidálószerrel	1700 m/s
Dekaboránvegyületek	3000 m/s

A folyékony hajtóanyagok alkalmazása a legjellemzőbb a nagyobb rakétákra. Két kom-pensből állnak: tüzelőanyag és oxidálószer (diergol). A folyékony hajtóanyagú hajtómű alapvető részegységeit az oxidálószer és a tüzelőanyag tartálya, az adagolórendszer, maga a hajtóműblokk (tüzelőtér, égéstér) és a fúvóka képezi.

Ennél a megoldásnál a tolóerőt a folyékony tüzelőanyag elégeésekor felszabaduló gázok biztosítják. Az adagoló- vagy táprendszer, amely vezérelhető, a tüzelő- és az oxidálóanyagot az égéstérbe juttatja (szivattyús-turbinás kialakítás). Itt megtörténik a keverék gyújtása, vagy az ún. hipergol típusú hajtóanyagoknál az öngyulladás.

<sup>2</sup> Schuler-inga: hipotetikus inga. A Föld sugarával megegyező hosszúságú, 5064 másodperc lengésidejű inga, állandóan a Föld középpontja felé mutatva. Gyakorlatilag kivitelezhetetlen, de elektronikusan kialakítható egy vele analóg rendszer, azonos lengésidővel.

<sup>3</sup> Haditechnikai kislexikon (második, átdolgozott és bővített kiadás). Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1976, 317.

Az ilyen szerkezeti kialakítás meglehetősen bonyolult, és a kivitelezése is precíziós munkát igényel. Nem elhanyagolható, hogy a folyékony hajtóanyag égése igen magas hőmérsékleten megy végbe (meghaladja a 2500 K-t is), valamint a létrejövő nyomás is tekintélyes (akár 5 MPa). Az oxidálószeres korrozíós készsége is megoldandó probléma. Tehát igen fontos a hajtómű szerkezeti anyagainak helyes megválasztása, valamint megfelelő hűtőrendszer kialakítása, megelőzendő a mechanikai-szilárdsági karakterisztika jelentős megváltozását. Az ilyen kialakítású rakéták harcászati (üzemkészsé) tétele hosszadalmasabb és körülményesebb, mint a szilárd hajtóanyagúaké.

A felsorolt hátrányokkal szemben, a mérleg másik serpenyőjébe a következő előnyöket helyezhetjük: szabályozható égésfolyamat, a szilárd hajtóanyagoknál jóval hosszabb égésidő, amelyek lehetővé teszik a tolóerő-szabályozással történő irányítást,<sup>4</sup> nagy tolóerő.

Alkalmazási területük a nagyobb katonai rakéták (hadműveleti, hadászati, hadászati interkontinentális ballisztikus, orbitális rakéták), illetve az űreszközöket pályára juttató rakéták.

Néhány folyékony hajtóanyag és kiáramlási sebességük (tüzelőanyag + oxidálószer):

Kerozin + nitrogén-tetroxid	2700 m/s
Dimetil-hidrazin + oxigén	3000 m/s
Hidrogén + oxigén	3800 m/s
Hidrogén + fluor	4000 m/s

A folyékony hajtóanyagoknak különböző nemei vannak: ha katalitikus kémiai reakcióban következik be az oxidáció (pl. hidrogén-peroxid), nevük katergol. Ha az alkotórészek alacsony hőmérsékletű cseppfolyós gázok, a megnevezés kriogol (pl. cseppfolyós hidrogén és oxigén). Amennyiben a keverék öngyulladó, úgy hipergolról beszélünk.

A hibrid hajtóanyagok egyik komponense szilárd, a másik folyékony. Ezzel a hajtóanyag-típussal próbálják a szilárd és folyékony hajtóanyagú rakéták előnyeit egyesíteni. Általában a tüzelőanyag szilárd és az oxidálószer folyékony.

## AZ ELSŐ IGAZI RAKÉTÁK<sup>5</sup>

Európában és az Egyesült Államokban nagy lendülettel folyt a kísérletezés. A Szovjetunióban 1921-ben megalakult<sup>6</sup> a Gázdinamikai Laboratórium (GDL), Nyikolaj Ivanovics Tyihomirov vezetésével. Jelentős lépés volt a Sugárhajtás-kutatási Csoport (GIRD) megalakulása, olyan mérnökökkel a soraikban, mint Szergej Pavlovics Koroljov,<sup>7</sup> Jurij Alekszandrovics Pobedonoszcev és Fridrih Arturovics Cander. Ciolkovszkij élete utolsó éveiben a többlépcsős rakéták elméletével foglalkozott. A GIRD több kísérleti rakétát alkotott folyékony hajtóanyaggal, többlépcsős kivitelben. Koroljov 1940-ben rakéta-repülőgépet tervezett, aminek tesztrepülései sikeresek voltak.

Németországban Hermann Oberth és Max Valier<sup>8</sup> értékes kísérleteket végzett a folyékony hajtóanyagú rakétákkal. 1931-ben sikerrel indult Winkler rakétája. Wernher von

<sup>4</sup> Kormányzás történhet a gázsugár irányának eltérítésével (fűvóka billentésével vagy sugárkormánnyal), valamint a tolóerő nagyságának szabályozásával (az adagolt hajtóanyag mennyiségének változtatásával, vagy az égés leállításával, majd újraindításával) – az erőhatás vektoriális jellemzőinek mindkét összetevője változtatható.

<sup>5</sup> Szászné dr. Tolnai Klára – Dr. Tamási Ferenc: Mesterséges holdak. Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1986, 5–8.

<sup>6</sup> Газодинамическая лаборатория.

<sup>7</sup> Szergej Pavlovics Koroljov később haláláig (1966) a szovjet űrprogram főkonstruktöre volt.

<sup>8</sup> Max Valier 1927-ben, kísérleti rakétájának felrobbanásakor életét vesztette.



Braun<sup>9</sup> neve összeforrott a V–1<sup>10</sup> pulzáló sugárhajtóműves és V–2 rakétahajtású fegyverekkel. Franciaországban jelent meg Esnault-Pelterie műve, „Az asztronautika”, ami az űrhajózás kérdéseivel foglalkozott.

Az Egyesült Államokban a húszas évektől kezdődően Goddard sikeres folyékony hajtóanyagú rakétakísérleteket végzett. Elméleti és kísérleti eredményeit a „Módszer különösen nagy magasságok elérésére” című művében foglalta össze.

A második világháborúban a rakétaelven működő fegyverek sora jelent meg. A legendás szovjet BM–13-as rakéta-sorozatvető (Katyusa), az amerikai kézi páncéltörő, a Bazooka és német megfelelője a Panzerfaust (páncélököl), az ugyancsak német a „ködvetők” (Nebelwerfer) és a hírhedt V–2 „megtorlófegyver” (Vergeltungswaffe–2).

## A GÁZDINAMIKAI LABORATÓRIUM ÉS A GIRD TEVÉKENYSÉGE<sup>11</sup>

A Ciolkovszkij-évforduló kapcsán foglalkozzunk kicsit részletesebben az említett szovjet Gázdinamikai Laboratóriummal (GDL) és a GIRD-csoporttal, tevékenységükkel, annál is inkább, mert Ciolkovszkij figyelemmel kísérte munkájukat és tanácsokkal látta el őket.

1928-ban Leningrádban (a mai Szentpétervárott) megalakult a Gázdinamikai Laboratórium, Nyikolaj Ivanovics Tyihomirov, majd halála után Ivan Tyerentyevics Klejmanov vezetésével, melynek felügyeletét a Katonai Tudományos Kutató Bizottság gyakorolta. 1929-ben a laboratórium keretein belül kísérleti-tervező csoport alakult a folyékony üzemanyaggal működtetett, valamint az elektromos rakéták tanulmányozására és kidolgozására.

A GDL gárdája 1933-ig kidolgozta a könnyű és nehéz repülőgépek rakétaindítását, terveztek különböző űrméretű füst nélküli lőporral működő rakétalövedékeket, többek között repülőgép-fedélzeti fegyverként. Ezek a rakétalövedékek képezték később, a Nagy Honvédő Háború folyamán a BM–13 rakéta-sorozatvetők (a Katyusák) bázisát.

1930-ban javasolták, hogy a rakétahajtóművekhez folyékony oxidálószerként használják a salétromsavat és a hidrogén-peroxidot, valamint tüzelőanyagként berilliumvegyületeket. Létrehozták a hatalmas hőmérsékleten égő cirkónium-dioxid elégetésére alkalmas keramikus hőszigetelő kamrát, az öngyulladó hajtóanyag-keveréket.

Szerkezeti megoldások sorát is kifejlesztették, például a dugattyús hajtóanyag-szivattyúkat, melyek működését a gázok égéstermékai biztosították, valamint a rakétahajtóművek kardántengely-felfüggesztését.

1931 folyamán a GDL munkatársai mintegy ötven kísérletet végeztek folyékony hajtóanyagú rakétahajtóművekkel, ezek tüzelőanyaga salétromsav, benzin és toluol voltak. Ezek a hajtóművek az ORM típusjelzést kapták (opitnij reaktivnij motor – kísérleti reaktív hajtómű).

Az 1924-ben létrejött GIRD-csoport önkéntes szervezetként kutatta a rakétahajtást, megvalósításának lehetőségeit. A folyékony hajtóanyagú rakétahajtóművek mellett a csoport kifejlesztett egy torlósugárhajtómű-koncepciót is, még 1926-ban. A GIRD vezetője Szergej Pavlovics Koroljov volt.

1932-ben létrejött az első találkozás a GDL és a GIRD tagjai között: januárban Leningrádba látogatott Koroljov, Cander és Pobedonoszcev. A találkozón egyeztették terveiket, kicserélték tapasztalataikat, és megállapodtak a további együttműködésben. Részben ennek a kialakult együttműködésnek a folyománya volt, hogy 1933-ban Mihail Szergejevics

<sup>9</sup> A háború után az Egyesült Államok űrprogramjának vezetője lett.

<sup>10</sup> Vergeltungswaffe–1, magyarul: „Megtorlófegyver–1”.

<sup>11</sup> Jevgenyij Rjabcsikov: A kozmosz Kolumbuszai. Kossuth Könyvkiadó, 1974, 117–122.

Tuhacsevszkij, a honvédelmi és tengerészeti népbiztos helyettese javaslatára egyesítették a GDL-t és a GIRD-et, Reaktív Tudományos Kutatóintézet (RTKI) néven. Az intézet élére a GDL volt vezetőjét, Klejmanovot, helyettesévé a GIRD volt vezetőjét, Koroljovot nevezték ki.

1934. február 7-én Klejmanov levelet intézett Ciolkovszkijhoz: „Mélyen tisztelt Konsztantyin Eduardovics! 1933 végén a reaktív hajtóműveket kutató egyes szervezetekből és csoportokból, a kormány rendelete alapján megalakult a Reaktív Tudományos Kutatóintézet. Az intézet azt a feladatot kapta, hogy reaktív elv alapján működő repülőgépeket dolgozzon ki és építsen meg. Ezzel megvalósult az e területen dolgozó kutatók álma; hatalmas lehetőség nyílt arra, hogy tudományos megalapozottsággal továbbfejlesszük azokat az eszméket, amelyeknek Ön volt az első hirdetője. [...] Úgy véljük, hogy Önnel, a reaktív mozgás elméletének megalkotójával, szoros kapcsolatot kell teremtenünk.”<sup>12</sup>

Az RTKI egy sor folyékony hajtóanyagú hajtóművet dolgozott ki, szárnyas rakétákat fejlesztettek. 1940-ben elkészült Koroljov és a világ első rakéta-repülőgépe, az RP-318.<sup>13</sup> A repülőgép egyfedeles volt, nyújtott szárnnal. Az üzemanyagtartályt a gép törzsében helyezték el, a pilótafülke mögött. (Első változatban a korábban említett ORM-sorozatba tartozó ORM-65 jelű hajtóművel készült, melynek tolóereje 1500 N volt. Később ezt a hajtóművet az RDA-1-150 váltotta fel.) A repülőgép egyéb paraméterei a következők:

Hossz:	7,9 m
Szárny fesztávolsága:	17 m
Maximális sebesség:	270 km/h <sup>14</sup>

1940. február 28-án erősen fagyos, zord időben került sor a próbarepülésre, a reptér jeges, havas volt. A rakéta-repülőgépet vontatókötéllel egy R-5 típusú kétfedeles gép emelte a levegőbe. Mikor a vontató elengedte az RP-318-at, beindult a rakétahajtómű, és egy szempillantás alatt hagyta az „igáslovát”: a 80 km/h vontatási sebesség gyorsan 140 km/h-ra nőtt.

A berepülőpilóta, Vlagyimir Pavlovics Fjodorov a következőképpen számolt be a repülésről: „A hajtóművet 2500 méter magasságban kapcsoltam be. Bekapcsolása után egyenletesen működött. Mintegy 5-6 másodperc alatt sebessége erősen megnövekedett. A gép simán repült, rezgést nem éreztem. A hajtómű alkalmazása magasba emelkedéskor bennem mint pilótában jóleső érzést keltett.”<sup>15</sup>

1947-ben Koroljov főkonstruktor vezetésével kipróbálták az első irányítható távolsági rakétát.

Ezek után kezdődött el az irányítható interkontinentális ballisztikus rakéták kutatása és fejlesztése, melynek eredményeként 1957. augusztus 22-én a TASZSZ jelenthette: „A tudományos kutató munkálatok tervének megfelelően a Szovjetunióban interkontinentális ballisztikus rakétákat próbáltak ki sikeresen... A rakéta pályája nagyon nagy, eddig még soha nem ért magasságban húzódott... Az eredménynek tanúsítják, hogy van mód a földgolyó bármely körzetébe rakétát jutatni...”<sup>16</sup>

<sup>12</sup> Uo. 120.

<sup>13</sup> A rakéta-repülőgép koncepciója a 20. század '70-es, '80-as éveiben került ismét napirendre, a többször felhasználható, űr- és légköri repülésekre egyaránt alkalmas űrsiklók kifejlesztése során.

<sup>14</sup> Rjabcsikov: i. m. 122.

<sup>15</sup> Uo.

<sup>16</sup> Rjabcsikov: i. m. 137.



Ezeknek az eredményeknek a birtokában lehetővé vált, hogy mesterséges holdat állítsanak Föld körüli pályára.<sup>17</sup> A terveken a szovjet mesterséges hold PSz (prosztoj szputnyik – egyszerű műhold) jelöléssel szerepelt, a műszaki személyzet azonban „Eszpé”-nek (azaz Szergej Pavlovicsnak, Koroljov főkonstruktőrrel)<sup>18</sup> nevezte. 1957. október 3-án reggel a rakéta indulásra készen állt Bajkonurban a kozmodrómon, hogy a világűrbe juttassa az emberiség első mesterséges égitestét. Az utolsó ellenőrzések is megtörténtek. Nem sokkal korábban Koroljov Ciolkovszkij születésének 100. évfordulóján beszédet mondott, ahol többek között elhangzott: „Napjainkban a rakéatechnika a korszerű tudomány és technika egyik legfontosabb területe... A legközelebbi jövőben a Szovjetunióban és az Egyesült Államokban tudományos céllal fölbocsátják a Föld első kísérleti mesterséges holdjait.”<sup>19</sup>

És végül bejárta a világot a TASZSZ újabb jelentése, amely meghirdette az űrkorszakot: „1957. október 4-én a Szovjetunióban sikeresen felbocsátották a Föld első mesterséges holdját... A Szovjetunió a Nemzetközi Geofizikai Év alatt több mesterséges holdat szándékozik felbocsátani. Ezek nagyobb méretűek és súlyúak lesznek, és széles körű tudományos kutatási programot valósítanak meg.”<sup>20</sup>

A The New York Times ezt írta: „Már ma világos, hogy 1957. október 4-e úgy kerül a történelem lapjaira, mint az ember egyik legnagyobb sikerének napja...”<sup>21</sup>

Végezetül ejtsünk szót az első szputnyikról, a Föld első mesterséges kísérőjéről. Megnevezése végül Szputnyik-1 lett. Ezüstfehér, tükörsima csiszolású gömb volt, négy antennával. Átmérője 560 mm, tömege 83,6 kg. A műhold két rádióadója folytonosan sugározta jeleit a 20,005 és a 40,002 MHz frekvenciákon, ezek a jelek a rádióamatőrök által is foghatóak voltak.

Ezen kezdetek után a rakéatechnika és a rakétakutatás rohamosan fejlődött tovább, mind katonai, mind tudományos téren, gondoljunk itt csak a globális és orbitális támadó-rakétákra, vagy a külső naprendszer felderítését szolgáló Voyager-programokra és a Plútó-kutatást jelenleg is folytató New Horizons misszióra. Megvalósult Ciolkovszkij álma, az ember kilépett bölcsőjéből.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

Asboth Oszkár: *Géprepülés*. Zrínyi Honvéd Kiadó, Budapest, 1957.

Csontos István: *Fegyverek rendszertana*. Magyar Néphadsereg Zalka Máté Katona Műszaki Főiskola, 1984. Főiskolai jegyzet.

Haditechnikai kislexikon. Második, átdolgozott és bővített kiadás, Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1976.

Rjabcsikov, Jevgenyij: *A kozmosz Kolumbuszai*. Kossuth Könyvkiadó, 1974.

Szászné dr. Tolnai Klára – Dr. Tamási Ferenc: *Mesterséges holdak*. Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1986.

<sup>17</sup> Föld körüli körpályára állításhoz a 7,9 km/s sebesség szükséges (első kozmikus sebesség). 7,9 és 11,2 km/s sebességhatárokon belül a pálya Föld körüli ellipszis. 11,2 km/s sebesség elérésekor a pálya parabolává válik, a kilőtt test elhagyja a Föld gravitációs terét (első szökési sebesség), és a Naprendszer mesterséges bolygójává válik.

<sup>18</sup> Rjabcsikov: i. m. 137. Koroljov, ezt hallván, megjegyezte: „Az Eszpé én vagyok, a mi első, legegyszerűbb műholdunk azonban PSz, kérem ne tévesszék össze.”

<sup>19</sup> Rjabcsikov: i. m. 138.

<sup>20</sup> Rjabcsikov: i. m. 140.

<sup>21</sup> Rjabcsikov: i. m. 137.